



TITLE:

研究室紹介

AUTHOR(S):

CITATION:

研究室紹介. Cue 2010, 24: 15-34

ISSUE DATE:

2010-09

URL:

<https://doi.org/10.14989/145909>

RIGHT:

研究室紹介

このページでは、電気関係研究室の研究内容を少しずつシリーズで紹介して行きます。今回は下記のうち太字の研究室が、それぞれ1つのテーマを選んで、その概要を語ります。

(☆は「大学の研究・動向」、#は「高校生のページ」に掲載)

電気関係研究室一覧

工学研究科

電気工学専攻

複合システム論講座(土居研)

電磁工学講座電磁エネルギー工学分野

電磁工学講座超伝導工学分野(雨宮研)☆

電気エネルギー工学講座生体機能工学分野(小林研)

電気エネルギー工学講座電力変換制御工学分野(引原研)

電気システム論講座電気回路網学分野(和田研)

電気システム論講座自動制御工学分野(萩原研)

電気システム論講座電力システム分野

電子工学専攻

集積機能工学講座(鈴木研)

電子物理工学講座極微真空電子工学分野

電子物理工学講座プラズマ物性工学分野

電子物性工学講座半導体物性工学分野(木本研)

電子物性工学講座電子材料物性工学分野(松重研)

量子機能工学講座光材料物性工学分野(川上研) #

量子機能工学講座光量子電子工学分野(野田研)

量子機能工学講座量子電磁工学分野(北野研)

光・電子理工学教育研究センター

ナノプロセス部門ナノプロセス工学分野(高岡研)

デバイス創生部門先進電子材料分野(藤田研)

情報学研究科(大学院)

知能情報学専攻

知能メディア講座言語メディア分野(黒橋研)

知能メディア講座画像メディア分野(松山研)

通信情報システム専攻

通信システム工学講座デジタル通信分野(吉田研)

通信システム工学講座伝送メディア分野(守倉研)

通信システム工学講座知的通信網分野(高橋研)

集積システム工学講座情報回路方式分野(佐藤高研)

集積システム工学講座大規模集積回路分野(小野寺研)

集積システム工学講座超高速信号処理分野(佐藤亨研)

システム科学専攻

システム情報論講座論理生命学分野(石井研)

システム情報論講座医用工学分野(松田研)

エネルギー科学研究科(大学院)

エネルギー社会・環境科学専攻

エネルギー社会環境学講座エネルギー情報学分野

エネルギー基礎科学専攻

エネルギー物理学講座電磁エネルギー学分野

エネルギー応用科学専攻

エネルギー材料学講座エネルギー応用基礎学分野(野澤研)

エネルギー材料学講座プロセスエネルギー学分野(白井研)

エネルギー理工学研究所

エネルギー生成研究部門粒子エネルギー研究分野(長崎研)

エネルギー生成研究部門プラズマエネルギー研究分野(水内研)

エネルギー機能変換研究部門複合系プラズマ研究分野(佐野研)

生存圏研究所

中核研究部

生存圏診断統御研究系レーダー大気圏科学分野(山本研)

生存圏診断統御研究系大気圏精測診断分野(津田研)

生存圏開発創成研究系宇宙圏電波科学分野(山川研)

生存圏開発創成研究系生存科学計算機実験分野(大村研)

生存圏開発創成研究系生存圏電波応用分野(篠原研)

京都大学ベンチャービジネスラボラトリー(KU-VBL)

高等教育研究開発推進センター

情報メディア教育開発部門(小山田研)

学術情報メディアセンター

教育支援システム研究部門遠隔教育システム研究分野(中村研)

電磁工学講座 電磁エネルギー工学分野

<http://fem.kuee.kyoto-u.ac.jp/EMEE-lab/>

「折畳み前処理による辺要素電磁界シミュレーションの高速化」

計算機による電磁界シミュレーションは、様々な学術研究に広く利用されるとともに、電気電子機器の設計における開発コストの削減・開発サイクルの短縮への貢献など、産業界において大きな役割を果たしています。現在では計算機性能と計算手法の進歩にしたがって、数十万～数百万自由度といった中規模のシミュレーションをPC上で行うことも可能となってきていますが、中規模以上のシミュレーションに費やされる計算コストは依然として大きく、その高速化・効率化のための新しい計算技術の開発が強く望まれています。そこで、本研究室では、先進的な電磁界シミュレーション技術の理論・応用に関する研究に取り組んでいます。以下では、最近の研究例 [1][2] について説明します。

電磁界シミュレーションに広く用いられている計算手法の一つに、有限要素法と呼ばれる手法があります。有限要素法による大規模電磁界シミュレーションでは、例えば自由度の数が一千万を超えるような大規模連立方程式の求解を行う必要があり、それには多大な計算時間を要します。このため、この求解を効率的に行うことがシミュレーション全体の効率化につながります。有限要素法に現れる連立方程式の係数行列はスパース（疎）であることから、その解法としては、ガウスの消去法などの直接解法と比べて、ICCG (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) 法などの反復解法が有力です。

有限要素法による電磁界シミュレーションでは、マクスウェル方程式の数理的な性質を適切に扱うために、辺要素と呼ばれる関数を使用されます。このとき現れる連立方程式には、特異性（無数の解が存在する）があることが知られています。これは例えば、磁束密度 \mathbf{B} をベクトルポテンシャル \mathbf{A} を用いて $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$ と表すときに、 \mathbf{A} が一意に定まらない性質に対応しています。特異な連立方程式については、適当に未知数を消去することによって、無数の解の中のある特定の解が満たす方程式を導くことが可能です（クーロンゲージ $\nabla \cdot \mathbf{A} = 0$ などになぞらえてゲージ固定と呼ばれます）。この方法では未知数を消去することにより反復解法の反復当たりのコストを削減できるのですが、収束に必要な反復回数が致命的に増加してしまう（表1の※1）ことが知られていました。本研究室では、この問題を回避し反復回数の増加を防止する（表1の※2, ※3）折畳み前処理という解法の提案を行いました。これにより、通常の解法と比較して大幅な性能改善を得ることができます。

参考文献

- [1] Y. Takahashi, T. Mifune, T. Iwashita, K. Fujiwara, and Y. Ishihara, "Folded IC Preconditioning in Quasi-Static Field Analysis Taking Account of Both Tree-Cotree and $\Phi = 0$ Gauge Conditions," 14th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation (CEFC), 2010.
- [2] T. Mifune, Y. Takahashi, and T. Iwashita, "New Preconditioning Technique to Avoid Convergence Deterioration due to the Zero-Tree Gauge Condition in Magnetostatic Analysis," IEEE Trans. Magn., vol. 46, no.7, pp. 2579-2584, 2010.

表1 静磁界シミュレーションの計算コストの比較

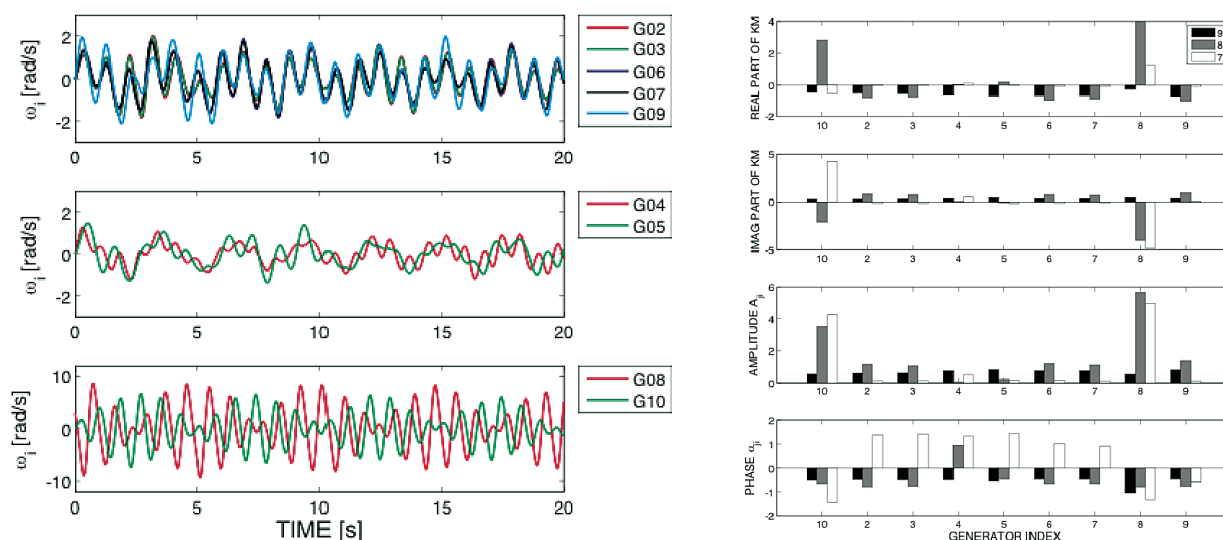
未知数消去	行わない (通常の方法)	行う (ゲージ固定)		
		ICCG	FICCG (提案法 1)	A_C-A_T block ICCG (提案法 2)
解法	ICCG	ICCG	FICCG (提案法 1)	A_C-A_T block ICCG (提案法 2)
収束までの反復回数	1180	10000 以上 ※1	1178 ※2	1151 ※3
計算時間 [s]	234.1	— (未収束)	197.5	140.3

電気エネルギー工学講座 電力変換制御工学分野（引原研究室）

<http://www-lab23.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「データから力学を理解する～非線形モード分解と電力系統解析への応用～」

近年、計測技術の飛躍的向上に伴い、実世界に生起する複雑な物理現象を測定し大規模時系列データとして利用することが可能になっている。例えば、建物内の室温分布や消費エネルギー、海洋における流速・風速分布、電力系統の電圧・周波数・潮流分布等が挙げられる。システム工学の観点では、大規模時系列データの現象の背後にある力学（メカニズム）の解明が対象となるシステムの深い理解のために必要であり、力学として意味のある情報をデータからどのように抽出するかが課題である。このとき重要な概念の一つが「モード」であり、工学的解析に多用される運動の単位としてのモードの同定がシステムの理解に向けて重要になる。本研究室では、非線形力学系のスペクトルから定義されるクープマンモードに着目し、大規模時系列データから力学を理解するための方法論の開発に取り組んでいる。クープマンモードは、非線形力学系に対して定義されるクープマン作用素に基づく概念であり、時系列データから単一周波数で振動する空間モードを同定できる [1]。クープマン作用素は、不変集合等の非線形力学系の大域構造とも関連し、大規模時系列データを再現する力学系の同定も可能にする。下図はクープマンモードを多機電力系統の動揺現象から同定したものであり、単一周波数で動揺する空間モードに相当する [2]。現在は、過渡状態を含む時系列データから意味のある力学的情報をどのように抽出するのかという課題に取り組むとともに、エネルギーマネジメントへの応用研究を進めている。文献 [1] C. W. Rowley et al., J. Fluid Mech., vol. 641, pp. 115-127 (2009) [2] Y. Susuki and I. Mezic, 第 54 回システム制御情報学会研究発表講演会（2010）



図：New England 39 母線系統の動揺現象（左図）からクープマンモード（右図）を同定。システムの非線形性により動揺現象は線形化固有値に基づく周波数とは異なる運動を示している。クープマンモードは動揺周波数（7：1.3Hz，8：1.0Hz，9：0.37Hz）と動揺の空間モード（AMPLITUDE, PHASE）を正確に与えるので、コヒーレントに運動する発電機の同定が可能になる。

集積機能工学講座（鈴木研究室）

<http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp/index.html>

「高温超伝導体 / 強磁性体 2 層エピタキシャル構造における偏極スピン注入効果」

一部の特別な超伝導体を除くと、超伝導はスピンの反対の方向を向いている 1 対の電子が、クーロン反発力を上回る電子間の引力を媒介として、対を作ることから生じます。対を作るにはある条件が必要であって、電子全体の中にこのような条件を満たして対を作る電子の数は一般にそれほど多くありません。例えば金属超伝導体の場合、その割合は 0.01% という場合も珍しくありません。つまり、全体の電子の中で極々一部の電子が対を作っているわけですが、それにも拘わらず、超伝導状態になると、電気抵抗ゼロ（完全導電性）、磁束の排除（完全反磁性、あるいはマイスナー効果）それに、顕著な巨視的量子効果を示すようになります。

これまで超伝導を制御するには、温度、磁場、電流などが用いられてきました。超伝導は、担っている電子対の数が少ないにも拘わらず頑健であるので、このような方法では制御が大変なところがありました。超伝導体の一部に弱い部分を形成して制御する（ジョセフソン接合）方法も考えられました。当研究室では、新しい超伝導の制御方法として、超伝導体の中にスピンの 1 方向に揃った電子（準粒子）を注入することにより超伝導を制御する方法を研究しています。電子対は、熱力学的揺らぎによって破壊されては形成されるというプロセスを通して平衡状態にあります。それにスピンの揃った電子（準粒子）を注入することで対の相手方を少なくして平衡状態を不安定にするというのがねらいです。

このようなスピンによる超伝導の制御には 100% スピンの揃った強磁性体（ $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 略して LSMO）と高温超伝導体（ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 略して YBCO）の 2 層エピタキシャル薄膜を使用します。図 1 はこのような 2 層薄膜の断面で、当研究室岸本昌也君が修士論文の研究で作製したものです。STO は基板の SrTiO_3 です。強磁性体の厚さが 85nm、超伝導体が 75nm あります。この 2 層薄膜から図 2 のような素子を形成し、それにスピン偏極電流を注入した時に超伝導が破壊される実験結果を示したのが図 3 です。この場合の超伝導層の厚さは 35nm です。LSMO 強磁性体を通さないで Ag 電極から直接電流を注入した場合に比べて超伝導の抑制が大きくなり、スピン偏極した準粒子電流を注入することにより顕著な効果が見られています。

このように超伝導体と強磁性体を組み合わせると、新しい機能素子の形成が可能になります。三層エピタキシャル構造を形成すれば強磁性層によるジョセフソン接合などを通して量子ビットなどへの応用が可能になります。

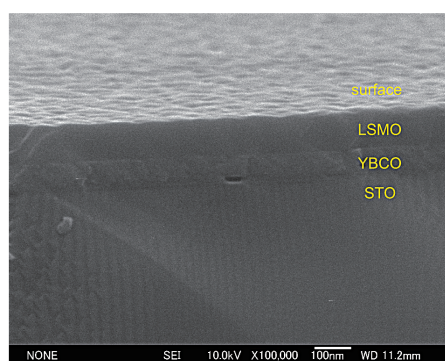


図 1 二層エピタキシャル構造の断面 SEM 写真

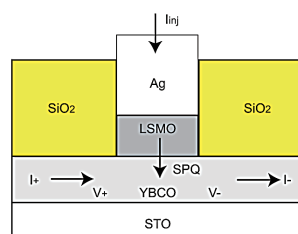


図 2 注入素子模式図

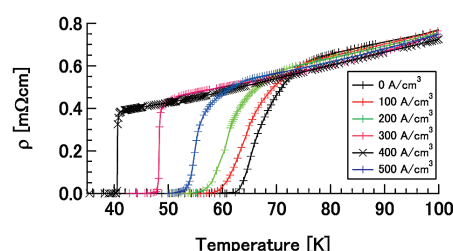


図 3 偏極スピン注入による超伝導転移の変化

電子物理工学講座 極微真空電子工学分野

http://www.kuee.kyoto-u.ac.jp/~lab16/index_j.html

「高分子材料への炭素負イオン注入による幹細胞のパターン配列と神経細胞への分化」

イオン注入技術は、表面・表層の物性を微細なパターンで改質する制御性の良い技術であり、半導体素子製造過程で利用されていますが、まだまだ多くの可能性を持っています。本研究室では、絶縁物でも制御性良く改質できる負イオン注入技術を開発して来ており、現在その応用として、紫外-青色の発光材料開発及び人為的な神経回路網形成などに取り組んでいます。最近、成体幹細胞のパターン配列接着とその神経細胞への分化誘導に成功しましたので、本稿では、高分子材料への炭素負イオン注入による細胞のパターン化接着について記述します。

医学・生物分野でよく利用されるポリスチレン PS や生体に無害な柔らかいシリコンシート SR に炭素負イオンを幅 $50\mu\text{m}$ 、長さ 5mm のスリット列を多数有するパターンマスクを介して注入し、パターン注入した材料上で各種の細胞を培養して、接着状況を調べました。図 1 は炭素負イオンを 2 回スリット列マスクを介して注入した PS 上で培養した PC12h 細胞で、格子状パターンに接着しています。図 2 はパターン注入した SR 上で培養した間葉系幹細胞 MSC で、細長い細胞形状で線状に接着しています。これに、 β メルカプトエタノールを用いて分化誘導した結果を図 3 に示す。細胞は丸い細胞体とフィラメントを持ち、ニューロン様形態になっています。ニューロン特異酵素 NSE が細胞全体で検出されていますので、分化した細胞は神経細胞であることが判明しています。このように、幹細胞を人為的な形状に自発接着させ、かつ、神経細胞に分化させる実験は、世界に類のない試みで、神経バイオインターフェイス^(注1)の開発や記憶メカニズムの解明などへの応用が期待されています。

基本的に細胞は足場となる粘着性タンパク質の上に接着し、そのタンパク質は適度に親水性表面に吸着します。このメカニズムも既に解明しており、水の接触角が 86° や 100° のポリスチレン PS やシリコン SR では、炭素負イオン注入の条件に依存するが、 70° 程度に低下し、つまり、親水性化します。また、培養培地からのタンパク吸着を X 線光電子分光法でその窒素吸着量を調べると、注入領域に特異的に多く吸着していることも判明しています。注入パターンに沿った自発的な細胞のパターン配列接着に必要な炭素負イオン注入処理条件は、高分子材料や細胞の種類によって異なりますが、概ね、注入エネルギー $10 \sim 20\text{keV}$ 、注入量 $1 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{15}\text{ions/cm}^2$ であることが判明しています。

注 1: 神経細胞の活動をパターン電子情報として取り出すものが神経バイオインターフェイスで、多数の配列した検出素子上に神経細胞を位置させることが求められます。事故などで手足を無くした人にとって、神経端から指令情報をこのインターフェイスで取り出して、高度な義手、義足の操作に利用できることになります。検出素子上（ゲート酸化膜直上）に神経細胞の配置することが求められています。

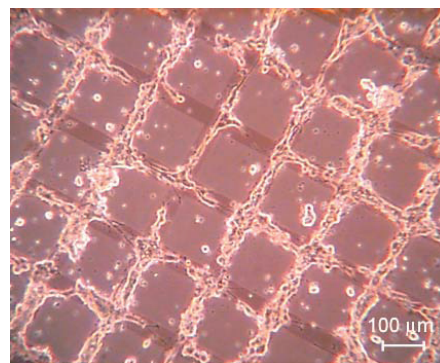


図 1. ポリスチレン上で格子状に自発的に接着した PC12h 細胞

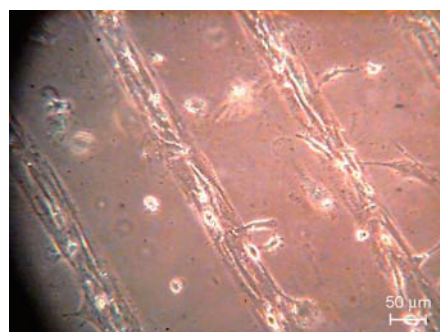


図 2. シリコン上で注入パターンに沿って配列した間葉系幹細胞 MSC

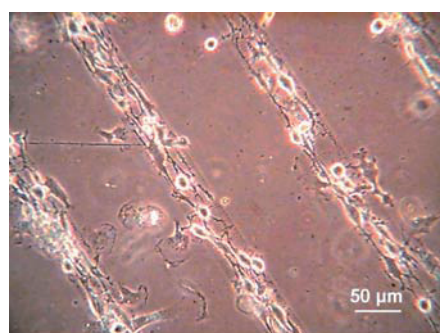


図 3. シリコン上に配列した間葉系幹細胞 MSC を分化させた神経細胞

電子物性工学講座 半導体物性工学分野（木本研究室）

<http://semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp>

「NiO 薄膜を用いた抵抗変化型不揮発性メモリ構造の作製と評価」

フラッシュメモリが登場して約 20 年が経過しました。今では、さらなる技術革新や大量普及によって大容量・低コスト化が進み、各種メモリカードやオーディオプレーヤーに当然のように組み込まれています。また、従来のハードディスクに変わり、衝撃に強いフラッシュメモリを記憶装置として搭載されたパソコンも普及段階にあります。しかし、なお進化し続ける高度情報化の波は、そのフラッシュメモリの仕様ですらかき消してしまいつつあり、より高速かつ低消費電力でのメモリ動作を渴望しています。

最近本研究室で注目している遷移金属酸化物は、特定の金属で挟んで電圧印加を繰り返すと高い抵抗と低い抵抗の状態を往復する、抵抗変化特性を示す材料としても知られています。ここで、我々が反応性スパッタリング法で作製したニッケル酸化物 (NiO) 薄膜を白金 (Pt) 電極で挟んだ積層構造 (Pt/NiO/Pt 素子) の抵抗変化特性を図 1 で説明します。まず、50k Ω 程度の高抵抗状態 (HRS) の素子に電圧を印加していくと、2V 程度で約 50 Ω の低抵抗状態 (LRS) へと変わります (セット: set)。次に、再び電圧を印加していくと 1V 弱で低抵抗状態から高抵抗状態に戻ります (リセット: reset)。この繰り返し可能な抵抗変化特性は、電源を切っても抵抗状態を保持、リセット電圧以下での抵抗値判別による読み出し、セット・リセット動作による書き換えが可能となる、不揮発性メモリとして機能を有するわけです。とりわけ、フラッシュメモリに比べて高速かつ低電圧で動作することから、来るユビキタス社会の要請に応える次世代不揮発性メモリとして大いに期待されています。

しかし、一見単純そうなこの抵抗変化特性ですが、実はその発現メカニズムはよくわかっていません。酸素イオン伝導が要因であるという報告がある一方で、類似の抵抗変化特性を示す原子スイッチの動作は金属イオン伝導によるとされるなど、伝導性ひとつとっても統一の見解が得られていない状況です。

我々は、NiO の半導体としての物性に着目して、抵抗変化特性の基礎研究を進めています。安定した抵抗変化特性を示す NiO_{1.07} 薄膜にアドミッタンス法という欠陥評価法を適用したところ、価電子帯端から深さ 0.17eV の位置に単一の欠陥準位の存在を確認できました。また、図 2 の高抵抗状態での抵抗値のアレニウスプロットより活性化エネルギーが 0.17eV と算出され、この状態では先の欠陥準位から熱励起された正孔をキャリアとするバンド伝導が支配的であることが示唆されました。他に、様々な条件や雰囲気下での熱処理の影響なども精査しています。こうした基礎研究を着実に進めていき、抵抗変化特性の発現メカニズムを解明して、抵抗変化型不揮発性メモリの実用化に貢献することを目指します。

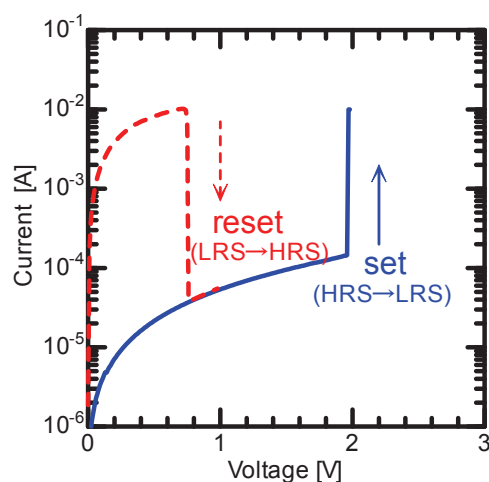


図 1 Pt/NiO/Pt 素子の抵抗変化特性

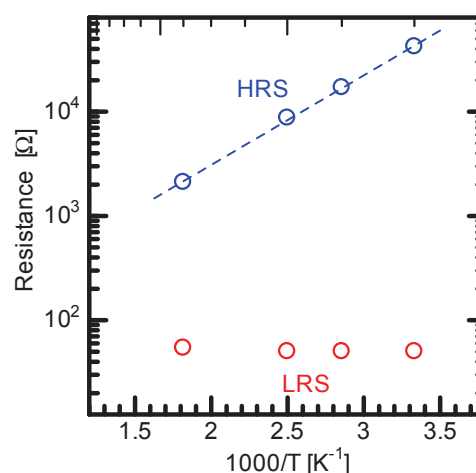


図 2 Pt/NiO/Pt 素子の抵抗値の温度依存

光・電子理工学教育研究センター ナノプロセス部門 ナノプロセス工学分野（高岡研究室）
http://cib.kuee.kyoto-u.ac.jp/nanoprocess_eng/index.html
 「新しい水利用技術の開発」

水は生体内や地球上で最も多量に存在する液体であり、生命や地球環境にとって必要不可欠な物質です。また、半導体産業分野では、様々な材料やデバイスの洗浄に用いられている溶媒ですが、酸やアルカリ溶媒と異なり、材料表面との化学反応は起こさない物質です。近年、新しい水利用技術として水クラスターのイオンビーム技術が注目されています。水分子イオンを固体表面に照射すると、中性状態の水分子とは異なり、ヒドロキシル基や水素原子の励起種が反応種として働き、表面化学反応を活性化することができます。所謂、水のような多原子分子のイオンビームは、イオンの運動エネルギー、電荷、質量の輸送に加えて、多原子分子を構成する官能基（ヒドロキシル基）特有の化学反応を付与できます。さらに、クラスターイオンビーム照射では、クラスターイオンの運動エネルギーを熱エネルギーに変換でき、照射表面を局部的に加熱できるので、基板温度が室温でも化学反応を促進できます。当研究室では、新しい水利用技術の開発を目指しており、こうした特徴を有する水クラスターイオンを固体表面に照射して、従来のウェットプロセスでは得られない表面原子との化学反応を明らかにしましたので、その結果を紹介します。

水を導入した液体容器を加熱し、高圧の水蒸気をノズル喉部の小孔を通して真空中に噴射します。このとき、断熱膨張によって水分子の塊状集団すなわちクラスターが生成されます。生成された水クラスターは、形状がコーン状のスキマーを通過してイオン化部に導入され、電子衝撃によってイオン化されます。イオン化された水クラスターイオンは、イオン化部から引き出された後、減速電界法によってサイズ分離されます。サイズ分離された水クラスターイオンは加速され、ファラデーカップ内に装填された基板に照射されます。生成された水クラスターのサイズは、ピークサイズが約 3000 分子で、数十分子から数万分子に分布しています。

図 1 は、水クラスターイオンの照射量（ドーズ）を変えて照射したシリコン基板および SiO_2 基板のスパッタ深さを示します。照射量の増加と共にスパッタ深さは増加しています。特にシリコン基板では、照射量 1×10^{14} ions/cm² で SiO_2 基板より 10 倍程度深く削られ、照射量 1×10^{16} ions/cm² では同程度削られているのが分かります。これは、照射直後では表面に現れているシリコン原子と水分子の水素が反応して、揮発性のシリコン化合物が生成されたためと考えています。また、照射量の増加と共に、水分子の水酸基との反応によってシリコン表面が酸化されるため、シリコン基板は SiO_2 基板と同程度に削られると考えています。同様の化学反応が、水クラスターイオンの入射角を変えて照射したシリコン基板表面でも生じています。図 2 に示すように、ある入射角でシリコン基板のスパッタ深さは最大値を示し、 SiO_2 基板より 4 倍程度深く削られています。水蒸気をクラスターイオン化することによって、中性状態の水では得られない化学反応性を示し、従来のモノマーイオンビーム照射の 50 倍以上のスパッタリング率を得ることに成功しました。

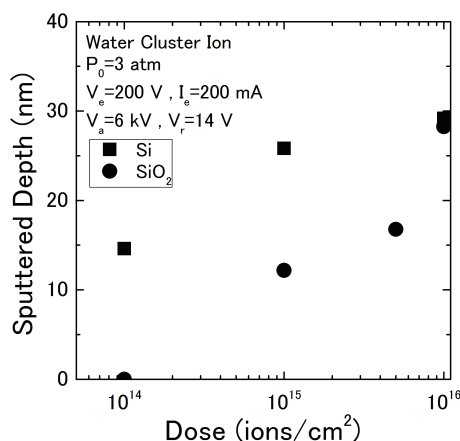


図 1. スパッタ深さのドーズ依存性

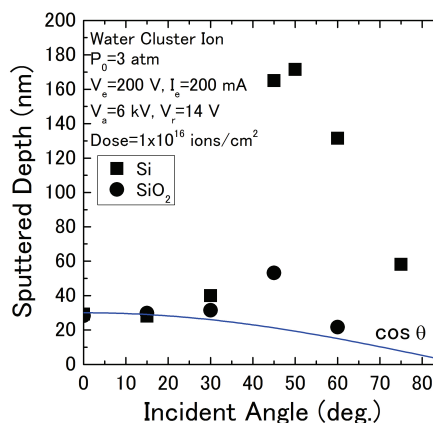


図 2. スパッタ深さの入射角依存性

光・電子理工学教育研究センター デバイス創生部門 先進電子材料分野（藤田研究室）

<http://pesec.t.kyoto-u.ac.jp/ematerial/index.html>

「環境に優しい物質創成技術を目指して」

半導体デバイスの製造には相当の電力が必要であるし、原料に毒物や危険物を用いる際の保護対策や廃棄物処理、不純物混入を避ける高度の真空システムなど、総じてエネルギー消費が大きい。地球環境の問題を考えると、デバイス材料、原料、製造技術にわたり環境への優しさを求めることが必要である。われわれは、酸化物半導体を多機能性、新機能性を備えた Green Materials として注目し、高品質結晶の育成と機能創成の研究を行っているが [1]、同時に酸化物であることを活かした環境に優しい物質育成技術 Green Chemistry を実現し、総じて豊かな暮らしと地球環境への貢献を期している。

酸化物半導体がこれまで一般に用いられている半導体と根本的に異なることは、従来最も避けるべき不純物とされてきた酸素が、半導体を構成する元素であるという点である。したがって、酸素の混入という問題にややゆとりをもって育成システムを構築できると考えられる。また水やアルコールが良い酸化剤であるため、従来の半導体育成装置では考えられなかったこのような原料がむしろ「望ましい」訳である。この観点で、われわれは金属の酢酸塩やアセチルアセトナートの水溶液、アルコール溶液を原料とし、これを超音波で霧化して得られたミスト（直径 $2\text{--}3\mu\text{m}$ の粒子）をキャリアガスで輸送して半導体の育成に用いるという「ミストデポジション法」の開発を行ってきた。初期には透明導電膜としての ZnO の育成に着手し [2,3]、その後、新たな機能が期待される酸化物単結晶薄膜の育成へと展開を図っている。

図 1 は、ZnO 基板の上へ ZnO 単結晶薄膜をこの技術によって成膜した際の表面である。表面は単分子層に相当する 0.26 nm の段差を持つ原子的に平坦なテラスで覆われており、また結晶性も優れている。図 2 はサファイア基板上に Ga_2O_3 単結晶薄膜を成膜し、断面を透過型電子顕微鏡で観察した結果である。欠陥がほとんどない成長層が得られている。従来金属化合物の成膜には、超高真空下での分子線を利用したり、有機金属化合物を原料にすることが一般的であったが、われわれの技術では危険で高価な有機化合物を用いることなく高品質の結晶成長が可能で、これは酸化物ならではの特徴である。現在、この技術は企業との共同研究による普及を目指しているとともに、この技術を用いた新しい酸化物半導体の育成と新しい機能の創成を進めている。

[1] 京都大学電気関係教室技術情報誌 cue 22 (2009) 24.

[2] <http://www.kulib.kyoto-u.ac.jp/modules/wordpress2/index.php?p=28> のうち No.6

[3] <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/handle/2433/57270>

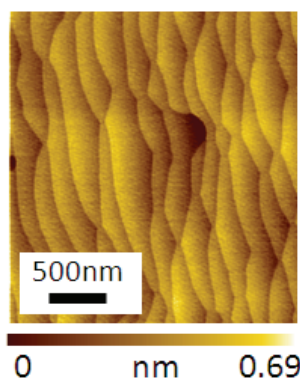


図 1 ZnO 基板上に成膜した ZnO 薄膜表面の原子館力顕微鏡像。

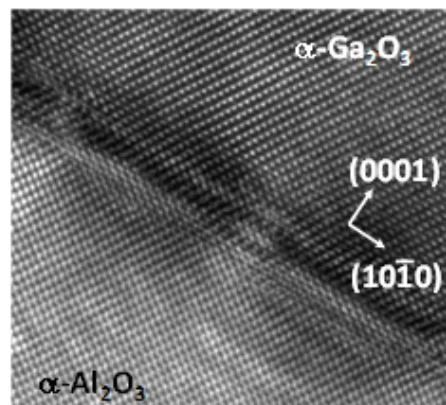


図 2 サファイア基板上 Ga_2O_3 薄膜の透過電子顕微鏡像（格子像）。

知能メディア講座 言語メディア分野 (黒橋研究室)

<http://nlp.kuee.kyoto-u.ac.jp/>

「自動獲得した世界知識に基づくテキスト中の関係性の認識」

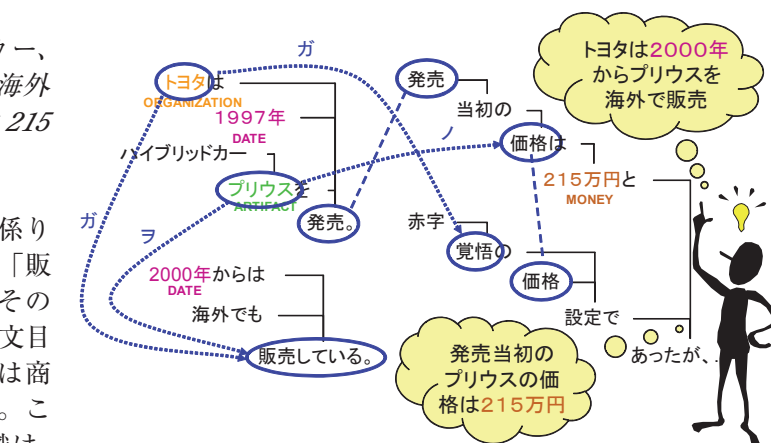
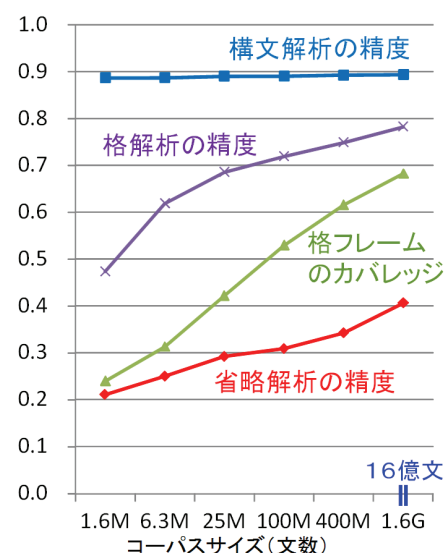
自然言語テキストは一次元の文字列で記述されます。しかし、その中に出現する語と語の間には様々な関係が存在し、計算機による言語理解を行うためにはこれらの関係性を認識する必要があります。

「トヨタは1997年ハイブリッドカー、プリウスを発売した。2000年からは海外でも販売している。発売直後の価格は215万円と赤字覚悟の価格設定で…」

例えば上記のようなテキストでは、係り受け関係にある語に加えて、2文目の「販売」と1文目の「トヨタ」は用言とその主体（ガ格）の関係にあり、また、1文目の「プリウス」と3文目の「価格」は商品とその価格という関係にあります。このような離れた語と語の関係性の認識は、

情報検索や質問応答、機械翻訳などといった多くの自然言語処理アプリケーションの高精度化において重要な技術であると言え、本研究室では特に「販売」に対する「トヨタ」のような用言の省略された格要素を高精度に認識することを目指した研究を行っています。

用言の省略格要素の認識を行うために必要となる知識は、用言とどのような位置関係にある語が先行詞となりやすいかなどの“談話構造に関する知識”と、各用言がどのような格を必要としその格はどのような表現で埋められるかといった“語彙に関する知識”の2つに大きく分けられます。このうち“談話構造に関する知識”は多くの照応関係に適用できる一般的な知識であり、正しいゼロ照応関係の情報が人手で付与された比較的小規模のコーパスから獲得することができます。一方、“語彙に関する知識”は用言ごとに個別の知識が必要となり、また、ある格を埋めることのできる語の種類も多岐に渡るため小規模のコーパスから獲得することは困難です。そこで本研究室では用言ごとにどのような格を必要としその格がどのような用例によって埋められるかを記述した格フレームと呼ばれる知識を16億文にも及ぶ大量のウェブテキストから自動的に獲得し活用することで、様々な語彙に対応した省略解析システムを作成しました。



また、格フレーム獲得に用いるコーパスサイズの解析精度に与える影響を調べるため、160万文から16億文までの異なるサイズのコーパスから格フレームを獲得し、格フレームに基づく構文・格解析（「は」などの副助詞によって「が」「を」などの格助詞が消えている場合にその格を推定する処理）モデル [1] や、省略解析モデルに適用しました。その結果、より大規模なコーパスを用いることで格解析・省略解析の精度が向上すること、16億文を利用した場合でもその精度は飽和していないことを明らかにしました [2]。今後はより大規模なコーパスから格フレームを獲得し、種々の新しい手掛かりを用いることで、さらに高精度な構文、格、省略解析システムの構築を目指していく予定です。

[1] 河原, 黒橋, 自動獲得した大規模格フレームに基づく構文・格解析の統合的確率モデル, 自然言語処理, Vol14, No.4, 2007

[2] Sasano, Kawahara, Kurohashi. The Effect of Corpus Size on Case Frame Acquisition for Predicate-Argument Structure Analysis, IEICE-Transactions on Info and Systems, Vol.E90-D, No.6, 2010

通信システム工学講座 デジタル通信分野 (吉田研究室)

<http://www.dco.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

「Cooperative 分散無線中継ネットワークのフィールドトライアル」

携帯電話では、すぐ近くの人との通話でも必ず離れた無線基地局を経由する非効率さがある。今後、人が意識して「連絡」や「情報取得」を行うことが通信の主体である社会から、人を取り巻く環境が常に情報交換を行って安全・快適・高効率な社会活動を支える社会に移っていく中で、身の回りの「物」が効率良く高い信頼性で近距離の通信を行う必要がある。

人口にはほぼ匹敵する台数の高度な無線送受信機が街中にあふれている。必要に応じてこれら送受信機の助けを借りて近距離の通信を行う Cooperative 無線中継ネットワークが脚光を浴びている。特に複数の中継局の協力を得ることによって各中継伝送の通信品質を大幅に改善することができる。このネットワークでは、無線通信で実用化が進みつつある MIMO (Multi-Input Multi-Output) 伝送技術が分散した中継局間で実現され、ダイバーシチ効果による伝送品質改善や、空間多重伝送による伝送容量拡大が可能となる。

本研究は、Cooperative 分散無線中継ネットワークの優れた伝送特性を屋外（フィールド）において実証することを目的としている。世界的にもこれまで Cooperative 分散無線中継ネットワークの実際の伝送特性はほとんど明らかにされていない。これは、伝送実験に要する装置数が従来の単純な一対一通信よりも大幅に増加してしまい伝送実験の難易度が高くなるためである。

吉田研究室では独自にデジタル IF 方式送受信機を開発し [1]、無線局免許を取得した上で京都市街におけるフィールド実験を実施している。この実験では、伝送する無線パケットの送信元である発呼無線局を搭載した車両と、構内に設置した無線中継局 2 局、および最終的にパケットを受け取る宛先無線局を搭載した車両の合計 4 地点からの実験データをリアルタイムに収集して可視化を行う等の工夫によって効率化を図っている。図 1 は中庭において車両準備中の様子であり、図 2 はビット誤り率の測定結果である。御影通り付近を走行した発呼車両からの 1.3GHz 帯無線信号は、近衛通り付近を走行した宛先車両では全く受信できない状況であったが、3号館南棟屋上の中継局 1 を経由した場合 (via Relay 1) や、文学研究科屋上の中継局 2 を経由した場合 (via Relay 2) には通信が可能となり、さらに STBC (Space-Time Block Code) 技術によって両方の中継局を利用した協力中継 (Coop.) では大きく伝送特性が改善されている。

参考文献

[1] Hidekazu Murata, Yuji Oishi, Koji Yamamoto, Susumu Yoshida, "FPGA implementation of STBC based cooperative relaying system," IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B, No.8, Aug. 2010.



図 1. 無線装置を積み込んだ発呼車両と宛先車両。この他構内に中継局を 2 局設置した。

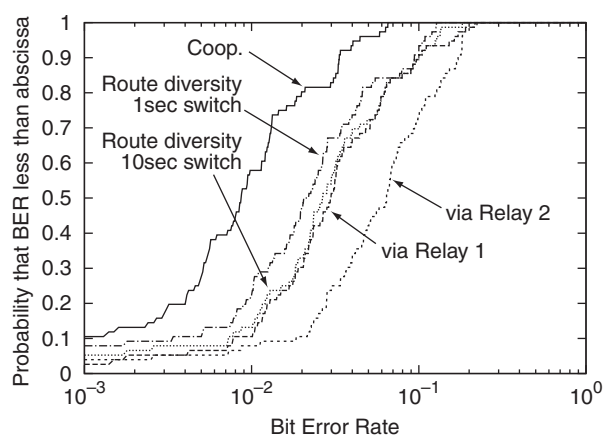


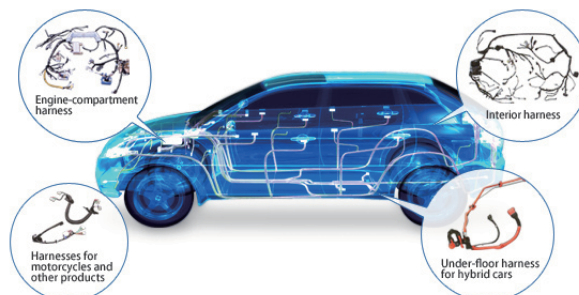
図 2. 協力中継 (Coop.) のビット誤り率 (BER) がもっとも優れる

通信システム工学講座伝送メディア分野（守倉研究室）

<http://www.imc.cce.i.kyoto-u.ac.jp/>

「低遅延・高信頼な車載電力線ネットワークシステムの構築」

自動車の制御に代表されるものはステアリング操作やブレーキング操作などがあり、私達の安心・安全に関わる重要な遠隔制御です。これらの自動車内の遠隔制御を効率のかつ信頼性高く実現するために、機械制御から電子制御に移行してきました。そのため、自動車内で電子制御ユニット間の制御信号を伝達するために人体における神経網と同様に、自動車内に低遅延・高信頼な制御信号ネットワークシステムを構築しなければなりません。車載ネットワークシステム技術はSteering-by-WireやBraking-by-Wireで代表されるX-by-Wire技術として注目を集めています（図1）。



<http://www.sws.co.jp/en/product/wireharness/car.html>

図1：車載ネットワークシステム

しかし、現在、車載ネットワークシステムでは新たな問題に直面しています。現在の自動車の中には、車載ネットワークシステムを構築するため、最大で数千本から成る信号線及び電力線が搭載されています。これらの信号線及び電力線は車載ネットワークシステムを複雑にし、コンパクトな自動車内で快適なスペースを提供することを困難にしています。そこで、当研究室では、自動車内の電力線と信号線を統合し、電力と制御信号を同一の伝送メディアで利用可能な車載電源線ネットワークシステムの構築を目指しています。本研究は、住友電気工業株式会社との共同研究として進められています。

車載電力線ネットワークシステムには、私達の安心・安全を提供する必要があるため、低遅延かつ高信頼な通信の実現が求められます。しかしながら、車載電源線の伝送特性及び雑音の測定実験から、ドアロック、パワーウィンドウ、ワイパーなどの駆動中のアクチュエータから生じる突発的かつ高レベルのインパルス性雑音によりシステムの信頼性が大幅に低下することが判明しました。そこで、当研究室では車載電源線に重畳されるインパルス性雑音を検出する方式[1]を考案し、提案方式の性能が従来の検出方式に比べて大幅に検出誤りを低減することを明らかにしました。図2に示すのは、検出されたインパルス性雑音の一例で、図3ではその振幅スペクトル密度を示しています。図3の結果から、アクチュエータから発生するインパルス性雑音は背景雑音に比べてエネルギーが特定の周波数に集中することが分かります。今後、車載電源線上のインパルス性雑音が有する特徴量を抽出することにより、車載電力線ネットワークシステムからインパルス性雑音の影響を低減する方式を提案していく予定です。

参考文献 [1] D. Umehara, M. Morikura, T. Hisada, S. Ishiko, S. Horihata, "Statistical impulse detection of in-vehicle power line noise using hidden Markov model," Proc. IEEE ISPLC 2010, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 341-346, Mar. 2010.

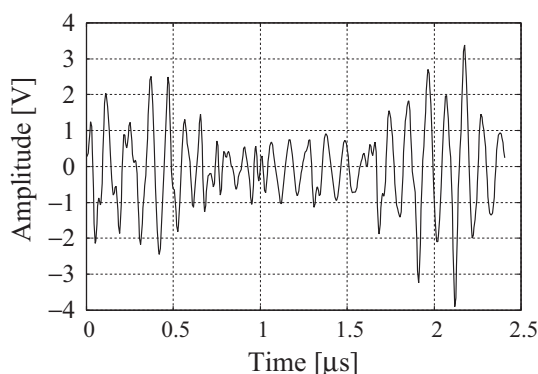


図2：検出されたインパルス性雑音

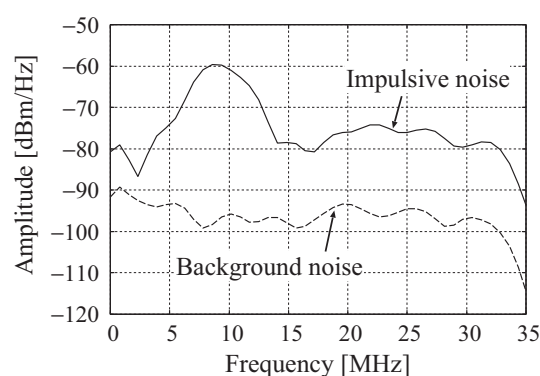


図3：インパルス性雑音の振幅スペクトラム密度

集積システム工学講座 大規模集積回路分野 (小野寺研究室)

<http://www-lab13.kuee.kyoto-u.ac.jp>

「光通信向け高速・低消費電力 CMOS 集積回路の開発」

本テーマでは、光通信に用いる集積回路について研究している。光ファイバ網は現代の通信の基幹であり、その性能は日々向上している。しかし一方でインターネットの普及などで通信量も爆発的に増大しており、その性能向上への要求はますます強くなっている。また、通信の基幹部分だけでなく家庭まで光ファイバ網が普及しており、量的な需要も拡大している。このような背景から、光通信のためのシステムでは高性能・低コスト・低消費電力化への期待が強い。本研究はこのような期待に応えるべく、優れた集積回路を実現するための回路設計技術を研究している。通信システムではいたるところで集積回路が利用されているが、本テーマで扱うのはレーザーダイオードドライバ (LDD) と呼ばれる回路である。これは信号を送信する回路の最後に位置し、レーザーダイオードを駆動することで電気信号を光信号に変換する。レーザーダイオードを動作させるには (集積回路にとっては) 大電流である 100mA 近い電流を流さなければならない。しかし、電流が大きいほど高速な動作は難しくなる。また、多くのトランジスタが必要となるためコストは上がり、消費電力も増えてしまう。

回路の高速化にはインダクティブピーキングという手法が一般的に用いられる。回路の動作速度を制限している主原因はキャパシタである。この手法はインダクタ (コイル) によってキャパシタの影響を相殺することで回路の動作速度を向上させる。しかし、集積回路でこの手法を使おうとすると集積回路の中にインダクタを作らなければならない。集積回路内でインダクタを作るための構造としてスパイラルインダクタが一般的だが、スパイラルインダクタはトランジスタの最小単位が数 $\mu\text{m} \times$ 数 μm であるのに対して数百 $\mu\text{m} \times$ 数百 μm の面積を占有する。しかも、効果的なインダクティブピーキングを施すには複数のインダクタを配置しなければならないためその面積は膨大なものになってしまう。最近の研究成果の一つとして、このインダクタの改良が挙げられる。これは複数のインダクタを絡み合うように一箇所に巻き込み、面積を削減すると同時に相互インダクタンスも活用するという手法である。この手法には設計が難しくなるという欠点があるが、計算機シミュレーションを活用することで 16Gbps 動作可能な LDD を設計することに成功した。より効果的な設計手法について現在研究を進めている。図 1: 試作した集積回路の顕微鏡写真。中央に 2 つある八角形の部分がインダクタであり、大きな面積を占めていることが分かる。従来はこの数倍の面積を必要とした。図 2: オシロスコープを接続した動作試験において観測された 16Gbps の波形。実際にレーザーダイオードを接続した場合は 20Gbps 以上の動作が予想されている。

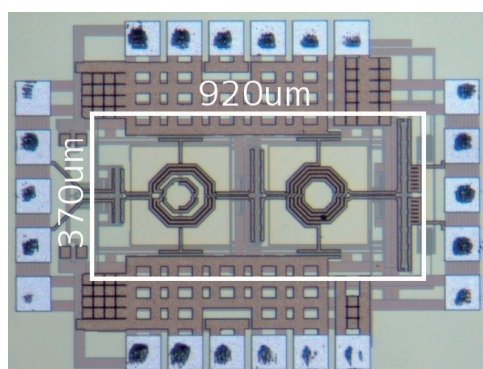


図 1: 試作した集積回路の顕微鏡写真。中央に 2 つある八角形の部分がインダクタであり、大きな面積を占めていることが分かる。従来はこの数倍の面積を必要とした。

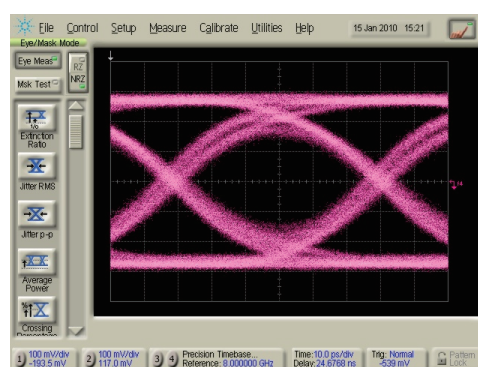


図 2: オシロスコープを接続した動作試験において観測された 16Gbps の波形。実際にレーザーダイオードを接続した場合は 20Gbps 以上の動作が予想されている。

システム情報論講座 医用工学分野（松田研究室） 「ヒト循環動態シミュレーションシステムの構築」

呼吸器系、消化器系、骨格系など、様々な機能単位が複合したシステムである人体の各組織の中でも、神経系や循環器系はそれらの電気生理学的あるいは運動力学的な機能を定量的に計測することが比較的容易であり、早くから生体機能の数値モデリングの対象として研究が進められてきた。従来の循環動態シミュレーションは、主として血管内の圧力や血流速度、血管壁の弾性などの指標を用いて流体力学的計算を行うものが中心であったが、近年では様々な測定法の進歩により計測が可能となった各臓器の循環特性を個別にモデル化し、全身の血管系を電気回路として表現する試みも報告され始めている。一方、循環系の駆動源である心臓についても、細胞レベルの発生張力のみならず心臓全体の力学的・形態的挙動を加味してポンプ機能のシミュレーションを行う研究が並列計算の進歩などにより現実化しつつある。当研究室では、医学部生理学教室で開発された心筋細胞の数値モデル：KYOTO Modelを用い、その特長である生理学的な正確さを損なうことなく心臓モデルと全身の血管系モデルを統合することによって、心血管系の生理学的挙動を忠実に再現できる循環動態シミュレーションの実現を目指している。

循環系は姿勢変化などの刺激に対して血圧を調節する自律神経系の制御機構が備わっており、仰臥位から立位に変化する際の血圧変化は自律神経機能検査として臨床に用いられている。角度が変化するベッド上の被験者に対し仰臥位から頭部を上昇させるような様々な角度にベッドを傾斜させ、血圧や心拍数の変化を測定する検査を起立負荷（HUT: Head Up Tilt）試験というが、我々は心筋細胞のKYOTO ModelとHeldtらの血管系モデルを組み合わせ、両モデル間の様々なパラメータや制御機構の整合性を生理学的根拠に基づいて調節することにより心臓を含むヒト循環動態モデルを構築した。心臓では、交感神経が刺激されると神経細胞末端からカテコールアミン（アドレナリンなどの総称）が放出され、心筋細胞におけるカテコールアミン β 受容体が刺激されて収縮力が増大し血圧が上昇するとともに心拍数も増加する。KYOTO Modelには、このカテコールアミン β 刺激系モデルが備わっており、交感神経刺激により収縮力の増加を再現することが可能である。また、Heldtらの血管系モデルは、肺循環、内臓や四肢の循環など12の区画で構成され、頸動脈や大動脈弓に存在する圧受容体からの刺激により動脈圧を変化させる動脈圧反射系モデルが備わっている。さらに、モルモットの心筋細胞をモデル化したKyoto Modelは安静時の心拍数が150拍/分で、生後6ヶ月、体重約8kgのヒト乳児の心拍数とほぼ等しいため、成人の血管系をモデル化したHeldtらのモデルに対して、文献的に報告されている体重や体表面積などを用いた生理的なスケール係数を適用し、ヒト乳児の循環動態シミュレーションモデルとした。

まず、安静時循環動態シミュレーション実験により心血管系の圧や心拍数などが生理学的な範囲にあることを確認した後、HUT試験に関するシミュレーション実験を行った。姿勢変化によって一旦血圧は減少、心拍数は増加した後に回復し始め、負荷前後で脈圧（最高血圧と最低血圧の差）は29%減少、心拍数は13%増加して安定化した。このような一連の挙動は実際の乳児を対象とした生理学実験に関する報告と一致し、定量的にもそれぞれ23%の減少および14%の増加という文献値と同程度で、ヒト乳児の循環動態を忠実に再現できることを確認した。本シミュレーションシステムでは、生体での計測が困難な心筋における酸素やエネルギーの消費量を推定できるため、今後、様々な負荷に対するエネルギー効率を検討することによって病態の解明や新たな治療法の提案に結びつけることができると期待される。

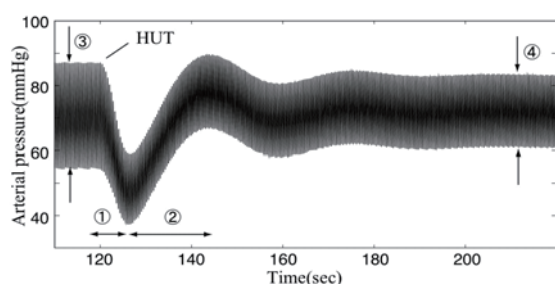


図1：HUT試験の血圧変化シミュレーション

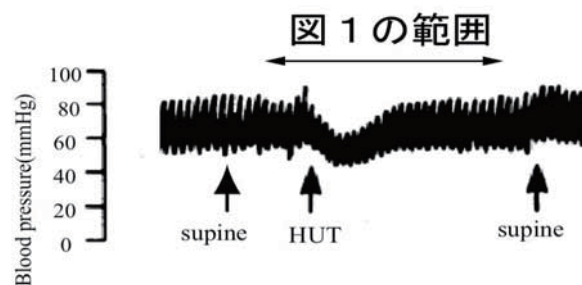


図2：ヒト乳児のHUT試験による血圧変化

参考文献：天野晃他，電子情報通信学会論文誌 D，Vol. J91-D，No. 8，pp.2177-2197，2008

エネルギー科学研究科 エネルギー社会環境学講座 エネルギー情報学分野

<http://hydro.energy.kyoto-u.ac.jp/>

「知的生産性変動のモデル化とシミュレーション」

近年の情報社会の進展により、従来よりもデータ・情報・知識・アイデアが価値を持つ社会となり、オフィスでの知的作業の重要性がますます高くなってきている。このような背景から、オフィス環境や労働条件を改善することにより知的作業の生産性を向上させようとする取り組みが行われている。本研究室でも、オフィスの照明を改善することで知的生産性が数%向上することを被験者実験により確かめている。これらの研究では、オフィス環境を改善する前後で標準的なタスクを被験者に与え、その向上率から知的生産性の向上率を推定するアプローチを採っており、様々な要因により知的生産性が変動するメカニズムまでは考慮されていなかった。本研究室でのこれまでの被験者実験の結果を詳細に分析すると、被験者はタスクに取り組み続けているわけではなく、時折、意識的に、あるいは無意識的に休んでいるブロッキング期間があり、その期間の長短がタスクの成績に大きな影響を与えていることがわかってきた。すなわち、オフィスで働く作業員も常に作業に集中しているわけではなく、精神的な疲労の蓄積により、時折休んでいる時間があり、その時間の長短が作業の効率に影響を与えていると言える。

そこで、本研究室では、図1に示すような作業に集中している「作業状態」と作業を休んでいる「非作業状態」の2つの状態が、図2に示すような遷移確率関数に従って確率的に遷移するモデルを考案した。作業状態では知的作業が進行するとともに精神疲労がある速度で蓄積する。一方、非作業状態では知的作業は進行せず精神疲労がある速度で解消される。作業状態－非作業状態間の遷移確率は、精神疲労の蓄積／解消の程度に依存する。このモデルは、疲労の蓄積／解消速度や状態遷移確率関数をパラメータとすることで、コンピュータシミュレーションが可能であり、オフィス環境条件や労働条件からパラメータを推定することができれば、従来のように被験者実験を実施することなく、それらの条件下での知的生産性がシミュレーションにより予測可能となる。

本研究室では、このモデルの妥当性の検証や条件によるモデルパラメータの推定方法開発のための基礎検討として、難易度が均一で単純なタスクを用いた被験者実験を実施している。具体的には、タスクに対する心的負担やモチベーションを変化させ、その際のタスク1問あたりの解答時間を記録しておき、それらが前述のモデルでシミュレーション可能かどうかを調べた。図3にタスク1問あたりの解答時間の頻度分布について、実験結果とシミュレーション結果の比較例を示す。この図では、解答時間が長くかかった問題ほど非作業時間が長いことを示している。このような基礎検討の結果、知的生産性の変動がシミュレーションにより予測可能であることが示唆された。今後は、モデルの精緻化や創造的な知的作業へのモデル適用方法の検討を進めていきたい。

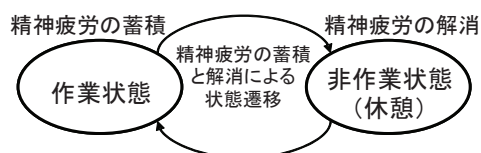


図1 作業状態と非作業状態の遷移モデル

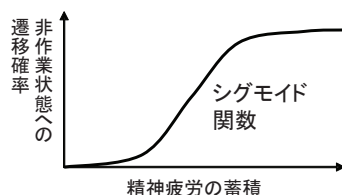


図2 状態遷移確率関数の例

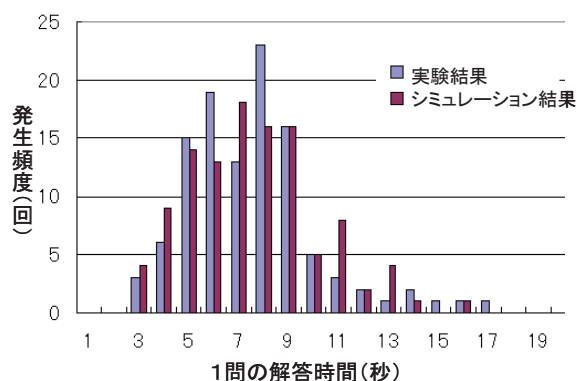


図3 解答時間の頻度分布の例

エネルギー科学研究科（応用科学専攻）プロセスエネルギー学分野（白井研）

<http://www.pe.energy.kyoto-u.ac.jp/>

「洋上風力・潮力ハイブリッド発電システム」

1. はじめに 再生エネルギーの重要性が高まっている昨今、風力発電は有力な発電方法の一つであるが、風況により出力が大きく変動する風力発電の特徴は、系統連系する上で大きな問題となる。一方、欧米では広大な大陸棚を利用して大規模な洋上風力発電ファームが出現している。そこで本研究では、洋上風力発電に小容量潮力を組み合わせて、その出力特性の違いを利用して出力変動を吸収・低減するハイブリッド発電（図1イメージ図）を提案し、その可能性について検討している。



図1 システムイメージ

2. 洋上風力・潮力ハイブリッド発電の概要 風力発電に比べ、潮力発電は、その出力変動周期が大きいと考えられるので、風力発電の出力変動に合わせて、潮力発電の出力を制御することを考えている。作成した風力・潮力ハイブリッド発電の実験モデルの回路図を図2に示す。風車、水車はそれぞれサーボモータで模擬した。風力発電は、三相コアレス同期発電機で構成し、その出力はシンプルにダイオードブリッジで整流しDC変換される。一方、潮力発電は誘導発電機を用い、その出力は双方向コンバータを通してDCに変換される。それぞれDCに変換された出力を連結し、MPPTインバータによりAC変換し系統連系する。トータル出力変動の補償制御は、潮力発電の誘導発電機を双方向コンバータで制御することで行う。

3. 今後の展開 洋上風力・潮力ハイブリッド発電システムの提案と実験モデルの作成を行った。今後の課題としては、DC側の出力、AC側の出力等を制御信号に用いた、自動制御系の構成を行い、応答速度を含めたシステムの有効性の検討を進める予定である。

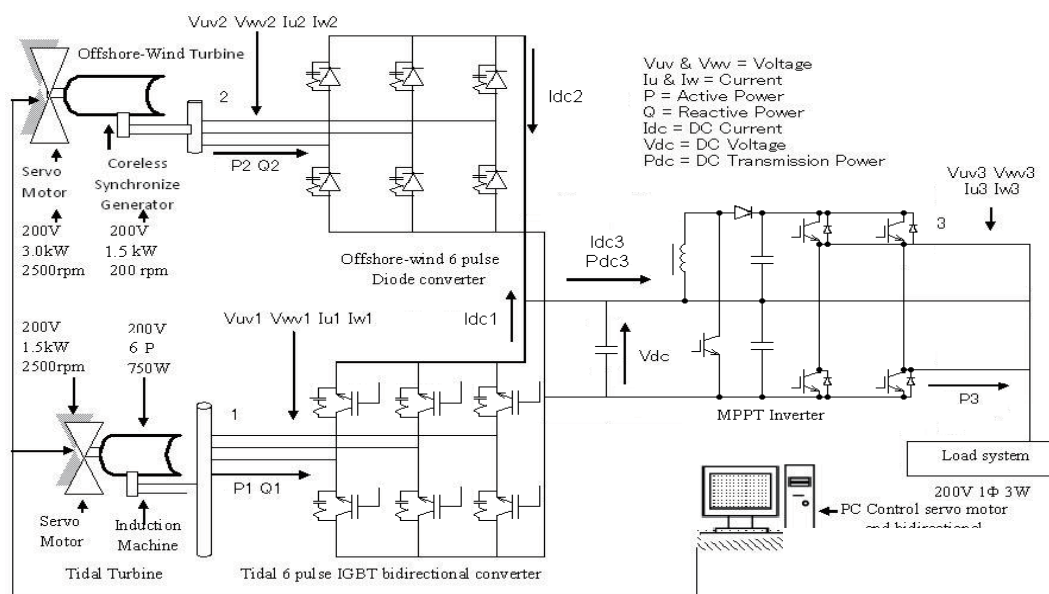


図2 実験モデルの回路構成

エネルギー機能変換研究部門 複合系プラズマ研究分野（佐野研究室）

<http://www.center.iae.kyoto-u.ac.jp/sanok/index.html>

「非軸対称磁場がプラズマ輸送へ及ぼす影響のモンテカルロ法による定量評価」

核融合燃焼プラズマの実現を目指した環状磁場閉じ込め装置として、トカマク方式とヘリカル方式が研究されている。この2つの方式を幾何学的に特徴づけるのがトーラスの主軸に対する対称性の有無で、これによりプラズマの平衡、輸送、安定性や高エネルギー閉じ込めに本質的な差異が生じる。特に近年わが国をはじめとして、磁場配位の対称性・非対称性の影響を定量的に理解することで、実験的なプラズマ閉じ込めの高性能化につなげる研究が活発に進められている。こうした研究に関連して、2つのトピックをあげる。一つは長年ヘリカル型装置で追求された磁場配位最適化の研究から生まれた準対称磁場配位である。複雑な3次元環状磁場の幾何形状をプラズマのMHD平衡や粒子軌道と直接結びつけた座標系（磁気座標系）で表現し、外部コイル系を逆問題として解くことで、磁気座標系における対称性を有する配位が構成できる。このような準対称配位はトカマク方式とヘリカル方式の中間に位置する概念として興味深く、米国ウィスコンシン大学では、準ヘリカル対称概念に基づいて設計された小型装置HSXを用いてプラズマ中の粘性や熱拡散に対称性の破れが及ぼす影響が実験的に検証されている。もう一つは、軸対称のトカマク方式におけるトロイダルコイルの離散性に起因した軸対称性の破れである。トカマクの軸対称性の破れがプラズマ閉じ込めに及ぼす影響の研究は早くから進められていたが、最近の新しい流れとして、非軸対称性を摂動磁場コイルによって積極的に導入して、境界局在モード（ELM）や抵抗性壁モード（RWM）の安定化に利用する研究が活発に行われている。

輸送の観点からみると磁場配位の対称性が破れると、磁気面に沿ったあらゆる方向に粘性が働きプラズマ流を減衰させる。その結果として磁気面に沿った流れ \mathbf{U} と「新古典」粘性 \mathbf{V} は $\mathbf{V}=\mathbf{M} \cdot \mathbf{U}$ なる線形関係で記述できることが知られている。この線形輸送行列 \mathbf{M} は3次元磁場配位中の捕捉粒子の複雑なダイナミクスから決定されるため、従来は粗い近似を用いて解析式で評価するのが常であった。

これに対して、われわれ（松山顕之、花谷清）は新古典輸送行列を複雑な磁場配位に対しても高精度で決定できるモンテカルロ計算コード（MONO）を世界で初めて開発した[Matsuyama & Hanatani, Phys. Plasmas 17, 032501 (2010)、他]。これら一連の研究では、グリーン・久保公式やアインシュタイン公式などの線形応答理論を用いて新古典粘性を計算するためのアルゴリズムが示され（図1）、同時に配位に対称性を与えたときに対称方向の粘性がゼロになることが解析的に保証されるという特長がある。後者の利点は、トカマクにおける弱い対称性の破れや準対称配位の取り扱いに有効である一方で、モンテカルロ法の並列計算によって従来収束解を得るのが困難であった強い非対称性を持つ系にも有効である。現在この計算コードの実験解析への適用が進展中であり、今後、環状磁場閉じ込め装置中のプラズマ回転に対する磁場配位の非対称性の役割の解明などに応用したいと考えている。

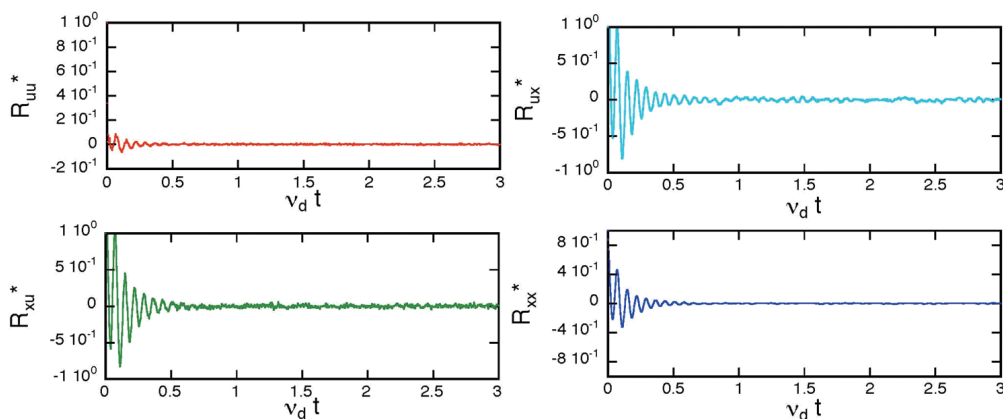


図1. グリーン・久保公式における微視的新古典フラックスの自己相関、相互相関関数 R_{ij} ($i, j=x, u$) のシミュレーション。ここで x は径方向、 u は磁力線方向の粒子フラックスを表す。

生存圏診断統御研究系 大気圏精測診断分野（津田研究室）

http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labs/tsuda_lab

「超高層大気の地上観測データに関するメタ情報データベースの開発」

超高層大気中のグローバルな諸現象は多様なプロセスが複雑に絡み合った結果として観測されるため、超高層大気における長期変動のメカニズムを解明するためには、全球規模の地上観測ネットワークにおける様々な観測データを組み合わせた総合的な解析が必要になります。しかしながら、これまでは、このような超高層大気の地上観測データは、観測を行った機関ごとにデータベース化され、公開されるものの、その多くは個別の観測・研究に関係する特定分野での利用に留まっていた。また、一部の観測データについては、観測者と周辺の限られた研究者のみによる利用に終始し、公開されないまま記録メディアの中に埋もれるケースもありました。

平成 21 年度よりスタートした特別教育研究費プロジェクト「超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究」（略称：IUGONET）では、京都大学をはじめ、国立極地研究所、東北大学、名古屋大学、および九州大学の 5 機関が連携し、観測データからメタデータを抽出してネットワーク上で広く共有するシステムの構築（図 1）を目指しています。メタデータは「データについてのデータ」と呼ばれ、地球観測の分野でいえば、例えば気温や風速のような測定されたデータそのものではなく、観測時刻や位置、測器の種類、データの置き場、データフォーマット、データに関する連絡先、等の情報にあたります。このようなメタデータをデータベース化して共有することで、様々な機関に分散して存在する観測データに関する横断的な検索を実現し、分野の異なるデータの取得・利用を容易にします。メタデータのデータベースによって、多種多様な観測データを用いた総合解析が促進され、超高層大気の長期変動の解明に大きく貢献できると期待しています。

プロジェクトでは、平成 23 年度中のメタデータ・データベース公開を目指し、現在、メタデータのフォーマット策定およびメタデータの抽出、データベースのシステム開発、解析ソフトウェアの開発を精力的に進めています。本研究室は、メタデータ・データベース構築の統括を担当し、連携機関と緊密に連絡をとりながら、開発（図 2）を進めています。

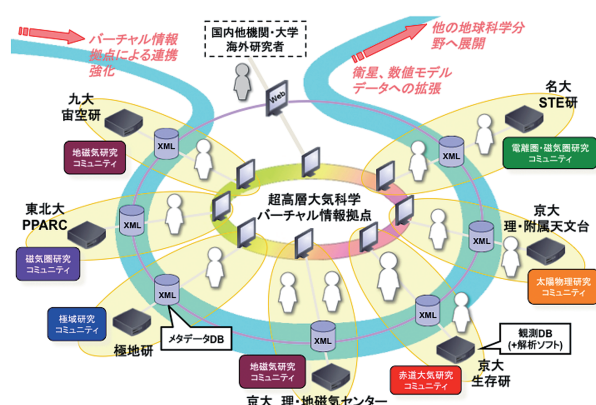


図 1：プロジェクト体制の模式図

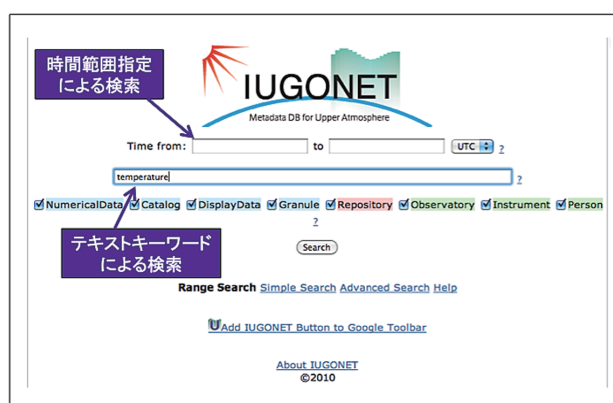


図 2：開発中の検索インターフェース

生存圏研究所 生存圏開発創成研究系 生存科学計算機実験分野（大村研）

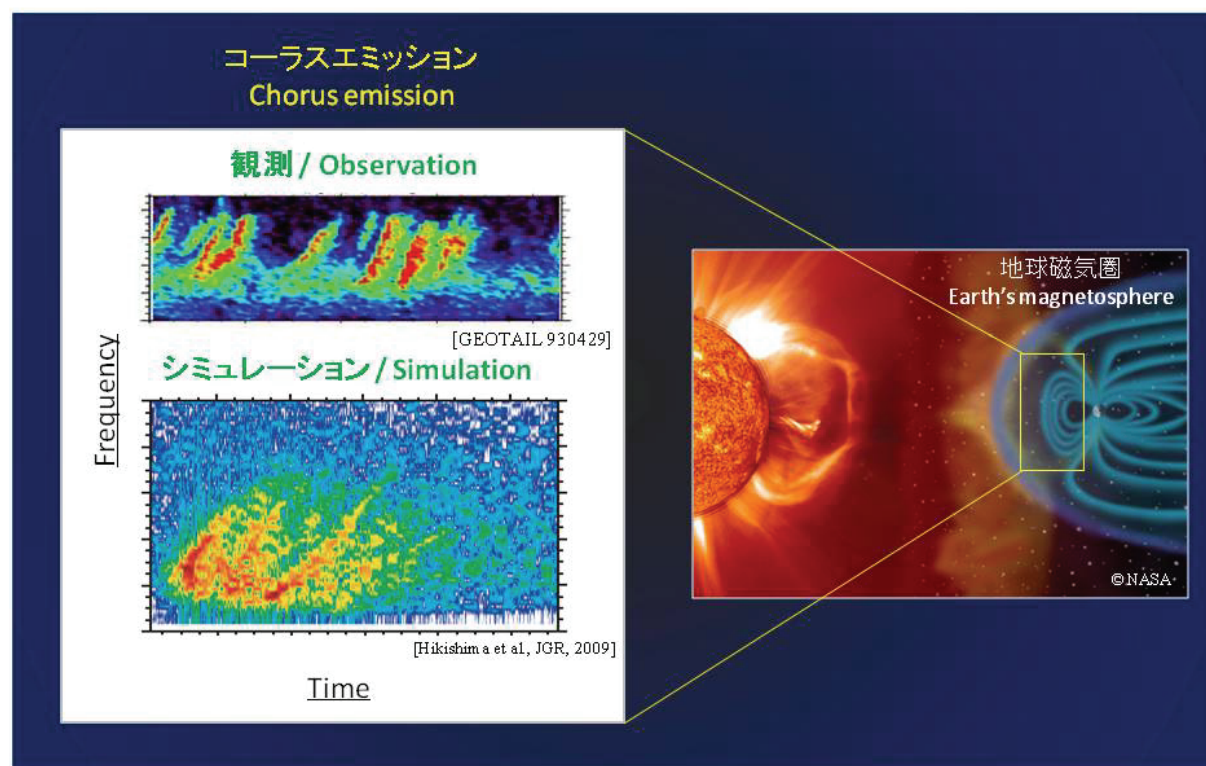
<http://www.rish.kyoto-u.ac.jp>

「地球磁気圏でのコーラス放射の発生と放射線帯形成過程の研究」

宇宙環境は希薄なプラズマで満たされているのみならず、宇宙線に代表される高エネルギー放射線が飛び交う場であり、通信衛星や宇宙ステーションを構成する部品はこれらの放射線の影響を受けて、劣化や様々な障害を起こしている。本研究分野では人類がその生活の場を宇宙空間へ拡大し、宇宙環境を有効利用してゆくことを前提として、地球周辺の宇宙空間の電磁プラズマ環境を計算機シミュレーションにより定量的に評価することに取り組んでいる。

地球周辺は磁気圏と呼ばれる地球の固有磁場が勢力を及ぼす領域が存在する。この磁気圏には太陽風から流入してくるプラズマ粒子が存在しており、また多様なプラズマ波動が存在する。なかでもコーラスエミッションと呼ばれるプラズマ波動は半世紀前から衛星観測・地上観測によってその存在が確認されてきたが、その詳細な発生機構は明らかにされていなかった。しかし、最近のスーパーコンピュータを駆使した大規模シミュレーションによって、コーラスエミッションは本質的に非線形な波動-粒子相互作用によって生成されることが明らかになってきた。

また磁気圏には放射線帯と呼ばれる領域が存在し、地球のダイポール磁場に捕捉された高エネルギー粒子が存在する。この高エネルギー粒子は太陽活動に起因して生成・消失するという特異な面を見せる。この粒子のダイナミクスにはコーラスエミッションが大きく関与していると考えられているが、まだ詳細には明らかにされていない。本研究室では、大規模計算機シミュレーションを用いて、コーラスエミッションの発生機構、およびコーラス波動が関与する放射線帯粒子フラックスの形成過程について解明し、同時にその理論解析を進めている。



地球磁気圏で観測されるコーラスエミッションの周波数スペクトルとその計算機シミュレーション

情報メディア教育開発部門（小山田研究室）

<http://www.viz.media.kyoto-u.ac.jp/>

「階層型応答曲面法による最適化システム」

本研究室で開発した階層型応答曲面法は、近似を用いた最適化手法で、回帰分析の一種である応答曲面法を改良した手法です。応答曲面法は、品質工学などの分野で広く使われており、計算が容易になるため近似式には一般的に二次多項式を用います。単峰性の場合には少ない計算コストで近似ができるという利点がありますが、多峰性のような複雑なパラメータ空間の場合には、うまく近似できないという問題があります。そこで、階層型応答曲面法では、近似精度の度合いを表す決定係数の値に基づき再帰的にパラメータ空間を分割し、分割された各空間で応答曲面を再構築します。このようにパラメータ空間を分割することで複雑な解空間であっても精細に近似することが出来るのが階層型応答曲面法の特徴です。パラメータ空間全域を複数の応答曲面で近似するので、大域解が複数ある場合であっても最適解を探索することができます。

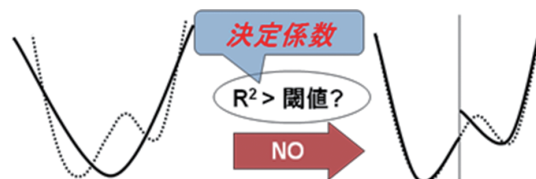


図1 パラメータ空間の分割例

階層型応答曲面法では、パラメータ空間を分割することで解の探索精度を向上させますが、計算コストが大きくなるという問題があります。これは、決定係数の値がユーザの指定する閾値を満たすまで、大域解が存在しない空間も含めて分割を繰り返すからです。この問題を解決するために、階層データ可視化技術と階層型応答曲面法を組み合わせ、ユーザに分割領域を選択させる最適化システムを提案しました。階層型応答曲面法では、再帰的に空間を分割するため、木構造のデータが出力されます。このシステムでは、利用者は、ちょうど植栽のように、無駄な木の枝を刈り取ることができます。この最適化システムを細胞シミュレーションのパラメータ最適化問題に適用した結果、短時間で高精度のパラメータ探索を行うことに成功しました。一般に、人による判断は曖昧で誤ることが多いため、最適化計算に用いられることはありません。しかし、階層型応答曲面法は、単に応答値だけで判断している遺伝的アルゴリズムなどと異なり、木構造データの各葉ノード毎に二次多項式を用いたパラメータ空間の近似を行なうので応答値の局所的振舞いを確認することができます。

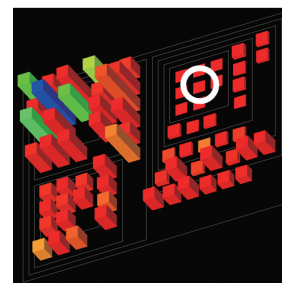


図2 平安京ビューを用いた細胞シミュレーションの結果

また、本システムをフォトニック結晶によるナノ共振器の高Q値化のための構造最適化にも適用した結果、従来の約1.5倍のQ値を求めることが出来ました。ここでQ値とは、光の閉じ込める能力の指標です。現在は、まだ二次元パラメータによる構造最適化が対象ですが、今後さらなる高次元のパラメータの最適化に取り組む予定です。その際に問題となるのが、パラメータ数の増大に伴う絞り込みの困難さです。平安京ビューでは、高さや色、輝度などでデータを表現していますが、1度に表現できる次元には限界があります。そこで、今後は、多次元パラメータの可視化技術のひとつである、平行座標（Parallel Coordinates）を用いてパラメータの絞り込みを行うことを検討しています。

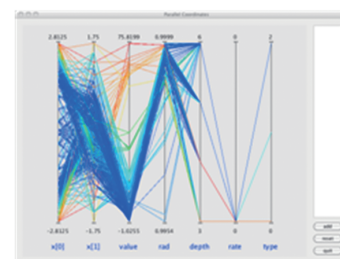


図3 Parallel Coordinatesの例

教育支援システム研究部門 遠隔教育システム研究分野（中村研究室）

<http://www.ccm.media.kyoto-u.ac.jp/>

「筋電位計測の高精度化とユーザインタフェース設計」

筋繊維が収縮する際に、数 m ～数十 mV 程度の膜電位の変化が現れる。これを筋電（筋電位、筋電図とも呼ばれる）として計測し、筋肉の状態、負荷／疲労、筋肉の効率的な使い方を解析することが、医療や福祉、人間工学やスポーツ科学の分野で行われてきた。最近では、筋電義手やパワードスーツのように、体に装着した機器を実時間で動作させることも行われている。さらに、ゲームやエンターテインメントのための入力デバイスとしての利用も期待されている。このような背景から、我々は筋電を実時間インタフェースに用いるための基礎的な研究を行っている。その本質的な問題は、人間が手足を動かす意思をできるだけ正確に計測し、その意図を外部機器にできるだけ自然に反映させることである。しかし、皮膚表面において電位を計測する表面筋電位計測では、電極の接触状態、雑音などの影響を大きく受けること、計測される信号は多数の運動単位（MU）等から発生する電位変化の重ねあわせであること、体表から遠い（内部の深いところにある）筋肉による電位変化を計測しにくいこと、動作が複合した場合には発生する筋電が単純な足し合せにならないこと等の難しい問題を抱えている。

我々は、精度が良く使いやすい筋電インタフェースを実現するために、二つの面から検討を行ってきた。一つは、導電布と多電極を用いた筋電信号計測、もう一つは、人間と機械の間のプロトコルとしての筋電信号の整理である。

前者は、金属糸を編み込んだ服やサポータなどに計測電極を多数配置することによって、外部ノイズの影響を抑えること、多数の電極から得られた信号の振幅と位相を基に信号の取捨選択を行ったり、運動の方向を推定することなどを検討してきた。従来の手法に比べて精度良くかつコストが小さい計測装置ができている。後者に関しては、EMGUI と名付けたインタフェース構築指針を提案した。現在の技術では、上記の理由から、全く任意の動作（またはその意図）を機械が自動認識することは難しいため、人間にとって発現しやすく、機械にとって認識しやすい動作を「部品」として選び、それにあわせて認識アルゴリズムを構成する。筋電の性質を考慮し、基本部品の型としてボタン型、レバー型、スライダ型を設定し、瞬時動作、ある程度の時間継続する動作、力加減が重要な動作を対応づけた。ボタン型については短時間の窓特徴量で、レバー型、スライダ型については短時間の窓特徴量と時系列パターンを用いて動作認識を行い、いくつかの情報を得る（図1）。肩・腕、手（指）の動作のいくつかを基本部品として定義し、SVM（サポートベクターマシン）とHMM（隠れマルコフモデル）を併用すれば、精度の良い認識が行えることを確認している（図2）。

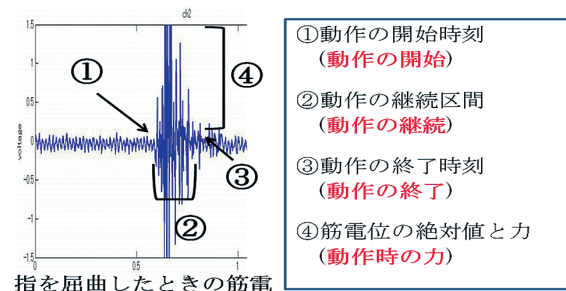


図1：筋電位から抽出する情報

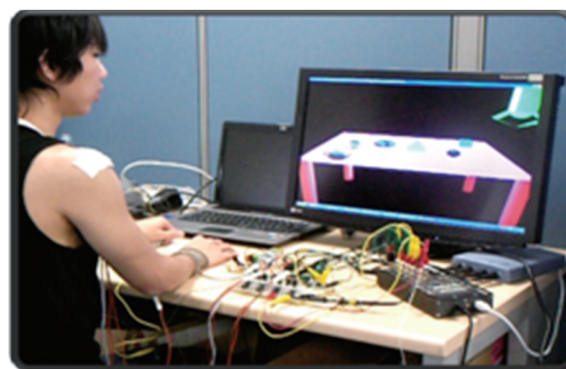


図2：筋電位で UFO キャッチャーを動かした例